

基于等离子体光强信号的激光除锈实时监测系统

佟艳群 张永康 姚红兵 张曙光 陈明阳

(江苏大学机械工程学院, 江苏 镇江 212013)

摘要 激光除锈是一种利用激光去除金属锈蚀物的新颖去锈方法,激光除锈过程的实时监测系统是检测激光除锈效果的关键技术。采用价格便宜的光电二极管探测器件,检测除锈过程中激光诱导等离子体的光强信号,并利用示波器将其转换为电压信号。根据不同激光能量辐照时峰值电压的变化可确定清洗阈值,根据同一点多次辐照的峰值电压变化可判断锈蚀层是否清除干净。这种检测方法快速有效、操作简单且成本低,为分析和控制激光除锈工艺提供了依据。

关键词 激光技术;监测系统;激光等离子体;激光除锈

中图分类号 TN247;TN249 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201138.1003009

Real-Time Monitoring System for Laser Derusting Based on Plasma Intensity

Tong Yanqun Zhang Yongkang Yao Hongbing Zhang Shuguang Chen Mingyang

(School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China)

Abstract Laser derusting is a novel method removing metal corrosion by laser. It is key technology to develop a new real-time monitoring system for evaluating the derust effect. We use a low-cost photodiode to monitor the light intensity of laser induced plasma, which transform the light signal into the voltage signal by oscilloscope. We can obtain the derusting threshold according to tendency chart of the peak voltage at different laser pulse energy. Furthermore, we can evaluate whether the metal surface has been cleaned by checking the peak voltage of repeated laser radiation at the same impact point. This rapid and effective method provides the basis for analysis and control of laser derusting technology, which has the merits of low cost and high efficiency.

Key words laser technology; monitoring system; laser-plasma; laser derusting

OCIS codes 040.5160; 120.1880; 140.3390; 160.3900

1 引 言

在与金属使用密切相关的行业,如金属生产、工程建筑、船舶制造等领域,金属锈蚀层的去除一直是人们极为关注的问题。20 世纪 90 年代,人们利用激光高能量、短脉冲等特点,将激光光束直接照射在金属表面,表面锈蚀层吸收激光能量后迅速升温,进而产生一系列复杂的物理效应,如燃烧气化、热冲击和热振动、声波振碎等,从而使锈蚀层与金属表面脱

离,同时不会对金属基体产生损坏。这种利用激光去除金属锈蚀物的新颖去锈方法称为激光除锈法^[1]。与传统的除锈方法相比,激光除锈法具有很多独特的优点:激光器的能量可调,且不损伤材料的内部组成和结构;激光与金属无接触,因此金属表面无机机械作用力,无研磨;输出激光采用光纤传输,与机器人或机器人相配合,方便实现远距离操作,能清洗某些不易达到的位置,操作灵活,在一些危险的场

收稿日期: 2011-05-30; **收到修改稿日期**: 2011-06-28

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(50735001)、国家自然科学基金(10804037)和江苏省博士研究生创新基金(CX09B_190Z)资助课题。

作者简介: 佟艳群(1981—),女,讲师,博士研究生,主要从事激光和光电检测技术方面的研究。

E-mail: tongyanqun@ujs.edu.cn

导师简介: 张永康(1963—),男,教授,博士生导师,主要从事激光先进制造与检测技术等方面的研究。

E-mail: ykzhang@ujs.edu.cn

合也可使用;清洗方法“绿色”,不使用任何化学药剂和清洗液,不会造成环境的污染^[2]。因此,激光除锈法具有广阔的应用前景和经济价值。

同钢板焊接类似^[3],在激光除锈过程中,也需要构建实时监测系统判断是否清洗干净。如果激光能量过高会损伤基体,能量过低则不能清除干净。由于激光除锈实质是激光与物质(如锈蚀层)相互作用,过程中伴随着啪啪的响声和闪亮的激光诱导等离子体,目前激光除锈的在线监测法大体可分为两大类,一类是声检测方法^[4~6],利用脉冲激光辐射基底表面,在很短的时间内产生强烈的振动冲击波,基底表面产生声波,通过使用麦克风等声学仪器来收集和处过程中所发出的声信号,该信号强度和频率等参数与基底清洗程度有关;另一类是光检测方法^[7~9],激光脉冲辐照基底产生高能量的等离子体,通过激光诱导的等离子体光谱探测,测量除锈过程中光谱信号的变化情况,判断基体清洗程度。由于声波监测易受环境噪声影响,光谱检测方法存在设备成本高、操作困难等缺点,而激光诱导等离子体既包含光谱信息也包含强度信息,参照激光熔融和激光烧蚀过程信号的监测方式^[10,11],本文提出一种实时的激光除锈监测方法,采用光电二极管检测等离子体光强变化,从而判断激光除锈效果。

2 实验装置

实验系统如图 1 所示。除锈激光器采用调 Q 的 Nd:YAG 激光器系统(SpitLight1000),脉宽为 8 ns,单脉冲能量最大为 1 J,重复频率可调,最高为 50 Hz。输出的激光通过光束准直后,经过反射镜改变光路方向,再由焦距为 30 cm 的透镜进行聚焦。锈蚀样品通过导轨置于二维电控平台上,样品可以上下左右移动,确保样品处于焦点位置。样品采用

D 级锈蚀船用钢铁。

激光辐照到样品后,激发出明亮的等离子体,焦距为 225 mm 的透镜将这些等离子体的光会聚到光电二极管,由示波器(型号 TDS3034)将光强信息转换为电压信息。计算机用于控制激光器的参数选取和提取示波器的电压数据。

3 实验结果与分析

实验采用重复频率 1 Hz 的激光,样品表面光斑半径为 1 mm,能量由小调节到大。图 2 显示激光能量为 150 和 850 mJ 时示波器的电压曲线。

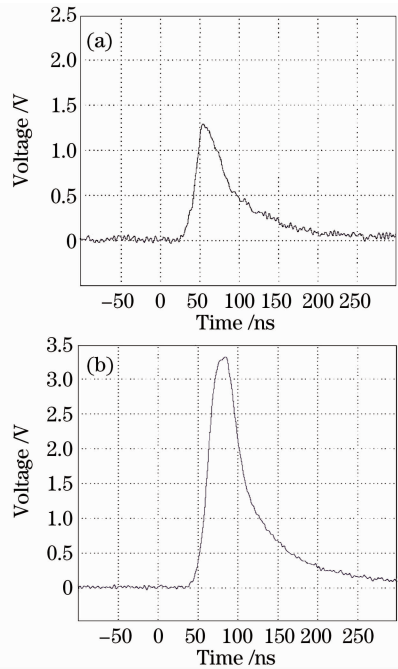


图 2 激光诱导等离子体在激光能量为(a)150 mJ 和 (b) 850 mJ 时的电压曲线

Fig. 2 Voltage curves of laser induced plasma with the laser energy of (a) 150 mJ and (b) 850 mJ

由图 2 可知,电压曲线的脉宽基本相同,约为 30 ns,说明激光激发的等离子体持续时间大致相同。但高能激光诱导的等离子体产生的峰值电压明显高于低能量激光诱导的。图 3 显示激光能量为 150~900 mJ 的峰值电压曲线。

由图 3 可知,当激光能量在 100~300 mJ 范围内时,峰值电压呈直线上升趋势,说明随着激光能量的增大,锈蚀层与激光之间的作用增强,激光诱发的等离子体增强,该范围内激光清洗效果逐渐变好,因此激光清洗阈值应为 300 mJ。当激光能量调节在 300~600 mJ 范围时,等离子体光强转换的峰值电压变化较小,曲线平坦,说明在此范围内,锈蚀层与

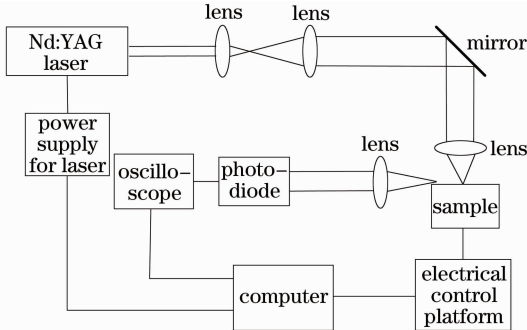


图 1 激光除锈实时监测系统

Fig. 1 Experimental diagram of real-time monitoring system for laser derusting

激光之间的作用基本不变,清洗效果比较好,可将激光除锈的能量选取在这个范围内。而当激光脉冲能量大于 600 mJ 后,峰值电压又呈上升趋势,说明激光除了与锈蚀层作用外,与基体也开始发生作用,对基体的损伤也逐渐增大。

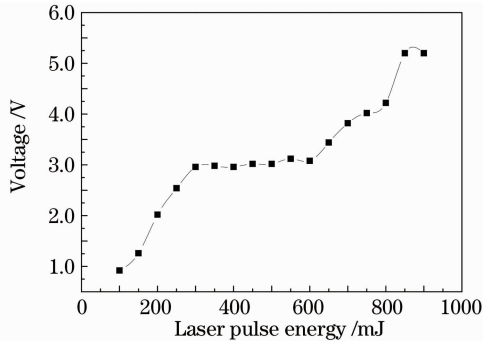


图3 峰值电压随激光脉冲能量的变化曲线

Fig. 3 Curve of peak voltage versus laser pulse energy

对于锈蚀程度高的样品,锈蚀层较厚,很难一次性清洗干净,单纯地提高能量并不能明显地提高清洗效果,一般采用提高冲击次数来提高清洗效果。图4为激光诱导等离子体光强的峰值电压随冲击次数变化的曲线。

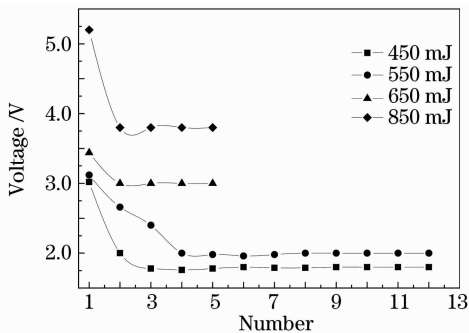


图4 峰值电压随冲击次数的变化曲线

Fig. 4 Curve of peak voltage versus shot number

由图4可知,当脉冲激光能量为450和550 mJ时,第一次冲击时峰值电压最大,冲击后样品表面由红色变为棕色,说明 Fe_2O_3 已被去除,出现氧化层的混合物(FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4),冲击几次后,峰值电压逐渐变小,最终趋于一条直线,样品表面由棕色转为暗灰色,最终为亮白色,即船用钢铁的本色,说明此时锈蚀层已被彻底清除。而后峰值电压随冲击次数不发生变化,说明脉冲激光已直接辐照基体本身,已达到除锈效果,可停止该点除锈。当脉冲激光能量为650和850 mJ时,第一次冲击时峰值电压也是最大,冲击后样品表面由红色变为亮白色,说明此时氧化物已被去除,随后峰值电压随冲击次数不发生变化,说明脉冲激光已直接辐照基体本身。这与

图3结果一致。

由分析可知,监测激光诱导等离子体的光强信号转换为电压信号,不仅可以探测出激光的清洗阈值,而且通过对同一点多次辐射的峰值电压信号变化,可以判断出基体表面是否清洗干净。

4 结 论

采用成本低的光电二极管和示波器等设备,探测出激光与锈蚀层相互作用产生的等离子体光强信号,并转换为电压信号。结果表明,在不同激光能量下的电压曲线脉宽均约为30 ns,但峰值电压呈不同趋势。在清洗阈值300 mJ以下,峰值电压随激光能量呈直线上升趋势。在300~600 mJ范围内,峰值曲线平坦,清洗效果好,且在同一点多次激光辐射下,第一次峰值电压最大,逐渐减小,最终趋于平坦,基体表面呈现金属本色,已达到除锈效果。在激光能量600 mJ以上,峰值电压随激光能量再次呈上升趋势,说明激光与锈蚀层和基体均发生作用。这种方法能有效判别清洗阈值和监测除锈效果。

参 考 文 献

- 1 Song Feng, Liu Shujing, Zou Wangfan. Typical application of laser cleaning-removal of rust and paint[J]. *Cleaning World*, 2005, **21**(11): 38~41
宋峰,刘淑静,邹万芳. 激光清洗——脱漆除锈[J]. *清洗世界*, 2005, **21**(11): 38~41
- 2 Tian Bin, Zou Wangfang, Liu Shujing et al.. Introduction of rust removed by dry laser cleaning[J]. *Cleaning World*, 2006, **22**(8): 33~38
田彬,邹万芳,刘淑静等. 激光干式除锈[J]. *清洗世界*, 2006, **22**(8): 33~38
- 3 Zhang Yi, Li Shichun, Jin Xiangzhong et al.. Key technology of laser welding of galvanized steel[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2010, **47**(7): 071401
张屹,李时春,金湘中等. 板激光焊接关键技术研究[J]. *激光与光电子学进展*, 2010, **47**(7): 071401
- 4 M. Jankowska, G. S. Liwinski. Acoustic monitoring for the laser cleaning of sandstone[J]. *Journal of Cultural Heritage*, 2003, **41**(s1): 65~71
- 5 T. Kim, J. M. Lee, S. H. Cho et al.. Acoustic emission monitoring during laser shock cleaning of silicon wafers[J]. *Opt. and Lasers in Engng.*, 2005, **43**(9): 1010~1020
- 6 Xu Jun, Sun Zhenyong, Zhou Wenming et al.. Real-time monitoring technique for laser cleaning rust deposit[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2002, **31**(9): 1090~1092
徐军,孙振永,周文明等. 激光除锈过程的实时监测技术研究[J]. *光子学报*, 2002, **31**(9): 1090~1092
- 7 F. J. Fortes, L. M. Cabalin, J. J. Laserna. The potential of laser-induced breakdown spectrometry for real time monitoring the laser cleaning of archaeometallurgical objects [J]. *Spectrochimica Acta Part B*, 2008, **63**(10): 1191~1197
- 8 F. Colao, R. Fantoni, V. Lazic et al.. Laser-induced breakdown spectroscopy for semi-quantitative and quantitative analyses of artworks-application on multi-layered ceramics and copper based alloys [J]. *Spectrochimica Acta Part B*, 2002, **57**(7):

1219~1234

- 9 D. J. Whitehead, P. L. Crouse, M. J. J. Schmidt *et al.*. Monitoring laser cleaning of titanium alloys by probe beam reflection and emission spectroscopy[J]. *Appl. Phys. A*, 2008, **93**(1): 123~127
- 10 Hong Lei, Hu Zhaowei, Ma Baoliang. Monitoring plasma light in laser cladding and melting[J]. *Chinese J. Lasers*, 2011, **38**(2): 0203006
- 洪 蕾, 胡肇炜, 马保亮. 激光熔覆熔凝过程等离子体光信号的监测[J]. *中国激光*, 2011, **38**(2): 0203006
- 11 Wang Xiaodong, Wang Shenglie, Liu Jinsong. Effect of quasi-vacuum environment in ablation with high repetition rate pulsed laser[J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(1): 238~243
- 王晓东, 汪盛烈, 刘劲松. 高重复频率脉冲激光材料烧蚀的准真空环境效应[J]. *中国激光*, 2009, **36**(1): 238~243